

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

En esta presentación se incluye un listado de problemas en el orden en el que se pueden resolver siguiendo el desarrollo de la teoría. Es trabajo del alumno resolverlos y comprobar la solución

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO fernandei@unican.es
JUAN CARCEDO HAYA juan.carcedo@unican.es
FELIX ORTIZ FERNANDEZ felix.ortiz@unican.es

1.1.- Introducción a las Máquinas Hidráulicas

1.2.- Bombas Hidráulicas

1.1.1.- Generalidades de las Bombas Hidráulicas

1.2.2.- Bombas Centrífugas

1.2.3.- Bombas Volumétricas

1.3.- Turbinas Hidráulicas

- ✓ **Generalidades de las B. Volumétricas**
- ✓ **Ec. General de Comportamiento**
- ✓ **Bombas de Pistones**
- ✓ **Bombas de Pistones Axiales**
- ✓ **Bombas de Pistones Radiales**
- ✓ **Bombas de Membrana**
- ✓ **Bombas de Engranajes**
- ✓ **Bombas de Tornillo**
- ✓ **Bombas de Paletas**
- ✓ **Bombas Dosificadoras**
- ✓ **Bombas Peristálticas**
- ✓ **Bombas Autocebantes**
- ✓ **Bombas Centrífugas Autocebantes**

Generalidades de las B. V. (I):

Se caracterizan por:

- Desplazan un volumen determinado de fluido (caudal constante), elevando su presión; el volumen trasegado está separado del resto del fluido
- Si está preparada para ello (variando el volumen de la cámara) o modificando la velocidad, se puede controlar con exactitud el caudal
- El caudal resulta pulsante (se abre una cavidad, el fluido entra, la cavidad se cierra y desplaza el fluido hacia la salida)
- Suministran caudales moderados
- Son adecuadas para líquidos viscosos
- Pueden hacer el vacío, por lo que tienen cierta capacidad de autocebarse (empezar a trabajar con aire en su interior)
- Pueden suministrar presiones altas
- Son máquinas reversibles (bomba o motor hidráulico indistintamente)

- **Tienen más piezas susceptibles de desgastarse y averiarse que las bombas centrífugas**
- **Son poco apropiadas para velocidades de giro elevadas**

Generalidades de las B. V. (II):

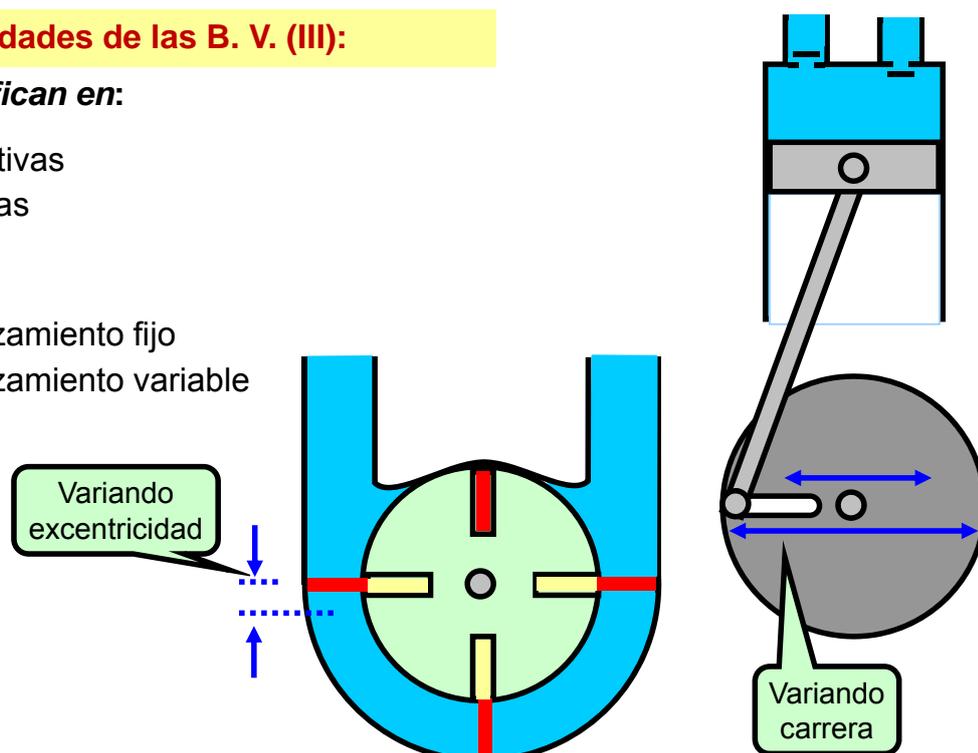
Se utilizan en:

- Maquinaria hidráulica industrial: grúas, prensas, automatismos y robots, ...
- Maquinaria hidráulica en automoción: carretillas, control y tracción, ...
- Maquinaria hidráulica en agroforestal: procesadoras, cargadoras, ...
- Sistemas de lubricación
- Ingeniería civil: puentes levadizos, movimiento de tierras, excavación, ...
- Ingenierías aeroespacial y naval: simuladores de vuelo, movimiento de alerones, tren de aterrizaje, posicionamiento de los álabes, timón, ...
- Máquinas "recreativas" (ferias, ...)

Generalidades de las B. V. (III):

Se clasifican en:

- Alternativas
 - Rotativas
-
- Desplazamiento fijo
 - Desplazamiento variable



Ec. General de Comportamiento (I):

Teóricamente:

El caudal suministrado es cte, e independiente de la altura suministrada

$$Q_{\text{Teorico}} = \frac{W \cdot n}{60} = \frac{V \cdot z \cdot n}{60} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$Q_{\text{Teorico}} = \text{cte}_1 \cdot n = \text{cte}_2$$

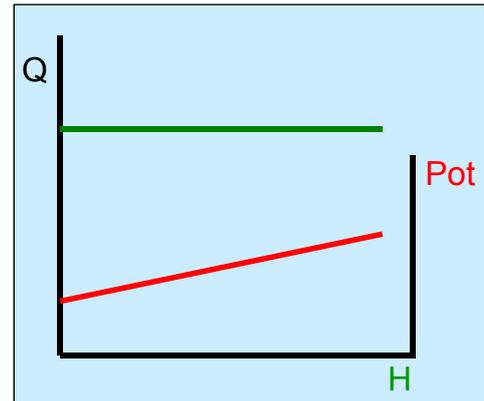
Siendo:

- W el volumen de trabajo de la bomba en cada revolución
- n el número de revoluciones por minuto
- V el volumen de cada cámara de trabajo
- Z el número de cámaras de trabajo

La potencia absorbida aumenta linealmente con la presión suministrada

$$\text{Pot}_{\text{Teorica}} = \gamma \cdot Q_{\text{Teorico}} \cdot H_{\text{Teorica}} \text{ [W]}$$

$$\text{Pot}_{\text{Teorica}} = \text{cte}_3 \cdot H_{\text{Teorica}}$$



7

Ec. General de Comportamiento (II):

Realmente (I):

El caudal suministrado disminuye al aumentar la presión, ya que se aumentan las fugas internas

$$Q_{\text{Real}} = \frac{V \cdot z \cdot n}{60} - \frac{Cs \cdot V \cdot z \cdot \Delta H}{2 \cdot \pi \cdot \eta} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$Q_{\text{Real}} = Q_{\text{Teorico}} \cdot \eta_{\text{vol}}$$

Siendo:

- Cs el coeficiente de deslizamiento (fugas)
- ΔH ($P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}}$)
- η la viscosidad dinámica del líquido

La altura suministrada se verá afectada por el rendimiento manométrico de la bomba

$$H_{\text{Real}} = H_{\text{Teorico}} \cdot \eta_{\text{manometrico}}$$

8

Ec. General de Comportamiento (III):

El fluido que fuga absorbe potencia

Realmente (II):

La presión suministrada al fluido es mayor que la que el fluido adquiere en la bomba

La potencia requerida en el eje de la bomba, P_{Eje} , es:

$$Pot_{Eje} = \frac{P_{Teorica}}{\eta_{mec}} = \frac{\gamma \cdot Q_{Teorico} \cdot H_{Teorica}}{\eta_{mec}} = \frac{\gamma}{\eta_{mec}} \cdot \frac{Q_{Bomba}}{\eta_{vol}} \cdot \frac{H_{man}}{\eta_{man}}$$

La potencia suministrada al fluido, Pot_F , es:

$$Pot_F = \gamma \cdot Q_{Real} \cdot H_{Teorica} = \gamma \cdot Q_{Real} \cdot \frac{H_{man}}{\eta_{man}}$$

La potencia útil suministrada por la bomba al fluido, Pot_U , es:

$$Pot_U = \gamma \cdot Q_{Real} \cdot H_{man}$$

Siendo el rendimiento de la bomba:

$$\eta = \frac{Pot_U}{Pot_{Eje}} = \eta_{mec} \cdot \eta_{vol} \cdot \eta_{man}$$

Ec. General de Comportamiento (III):

El fluido que fuga absorbe potencia

Realmente (II):

La presión suministrada al fluido es mayor que la que el fluido adquiere en la bomba

La potencia requerida en el eje de la bomba, P_{Eje} , es:

$$Pot_{Eje} = \frac{P_{Teorica}}{\eta_{mec}} = \frac{\gamma \cdot Q_{Teorico} \cdot H_{Teorica}}{\eta_{mec}} = \frac{\gamma}{\eta_{mec}} \cdot \frac{Q_{Bomba}}{\eta_{vol}} \cdot \frac{H_{man}}{\eta_{man}}$$

La potencia suministrada al fluido, Pot_F , es:

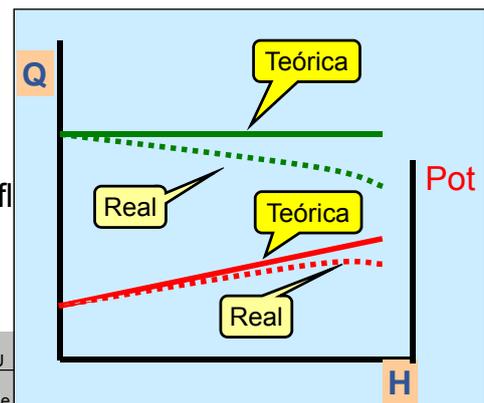
$$Pot_F = \gamma \cdot Q_{Real} \cdot H_{Teorica} = \gamma \cdot Q_{Real} \cdot \frac{H_{man}}{\eta_{man}}$$

La potencia útil suministrada por la bomba al fl

$$Pot_U = \gamma \cdot Q_{Real} \cdot H_{man}$$

Siendo el rendimiento de la bomba:

$$\eta = \frac{Pot_U}{Pot_{Eje}}$$



Bombas de Pistones (I)

Bajos caudales y grandes presiones

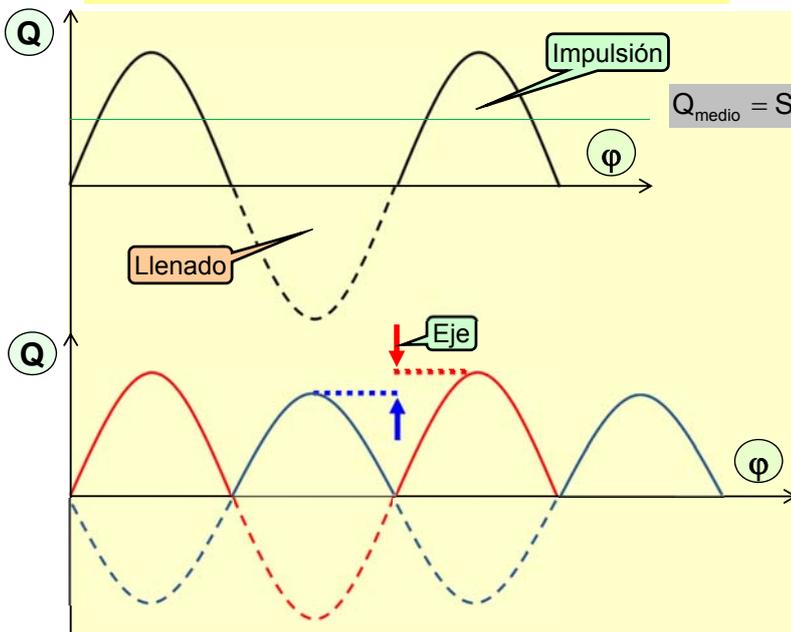
Requieren válvulas (vibraciones, ruido y mantenimiento)

Líquidos limpios



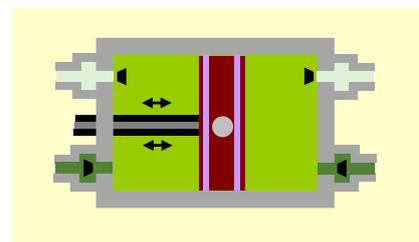
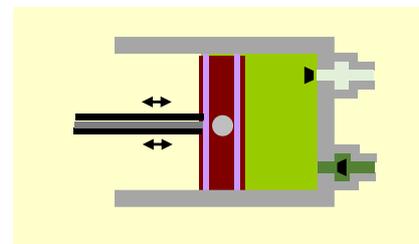
1

Bombas de Pistones (II)



$$Q(t) = \omega \cdot \frac{L_{Cil}}{2} \cdot S_{Cil} \cdot \text{sen}\varphi$$

$$Q_{medio} = S_{Cil} \cdot L_{Cil} \cdot n$$



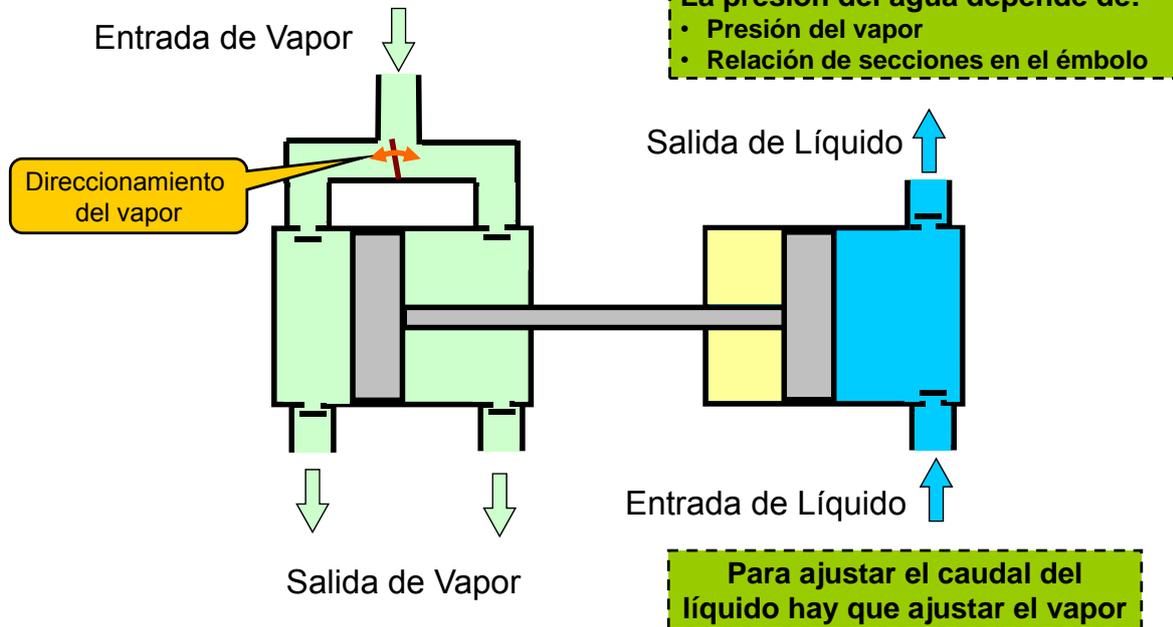
$$Q(t) = \omega \cdot \frac{L_{Cil}}{2} \cdot S_{Cil} \cdot \text{sen}\varphi + \omega \cdot \frac{L_{Cil}}{2} \cdot [S_{Cil} - S_{Eje}] \cdot \text{sen}(\varphi + \pi)$$

$$Q_{medio} = [S_{Cil} \cdot L_{Cil} + (S_{Cil} - S_{Eje}) \cdot L_{Cil}] \cdot n$$

2

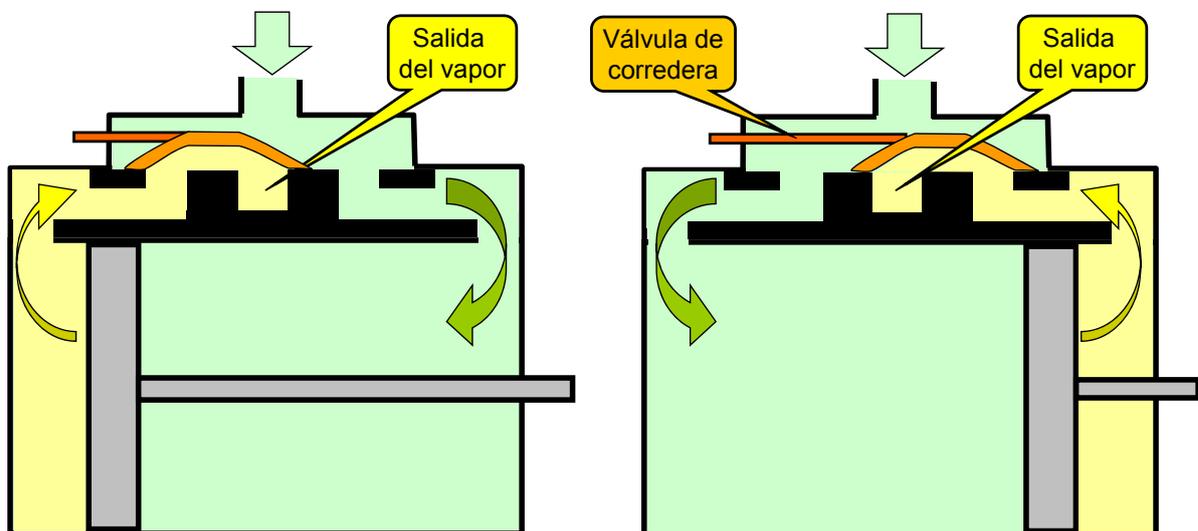
Bombas de Pistones (III)

Accionada por vapor (I)



Bombas de Pistones (IV)

Accionada por vapor (II)



Bombas de Pistones Axiales (I)

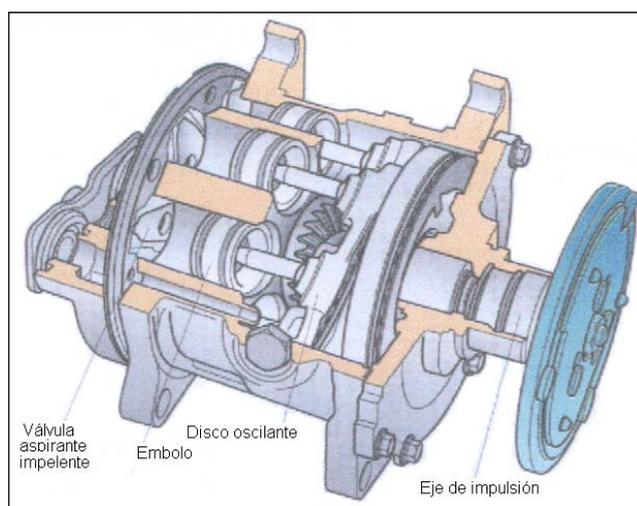
Bajos caudales y grandes presiones

Líquidos limpios

Una serie de cilindros y pistones axiales

El giro de un plato inclinado provoca el movimiento de los pistones en los cilindros

La inclinación del plato modifica la cilindrada de la bomba



Bombas de Pistones Axiales (I)

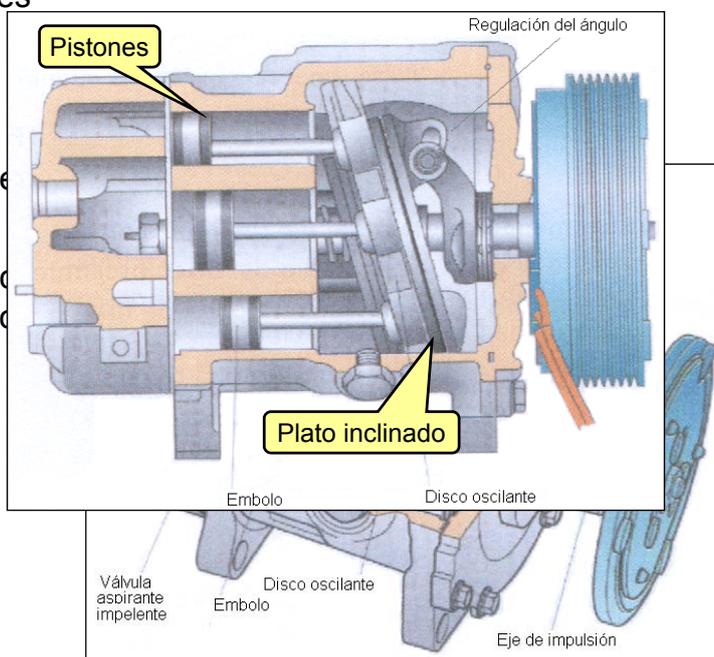
Bajos caudales y grandes presiones

Líquidos limpios

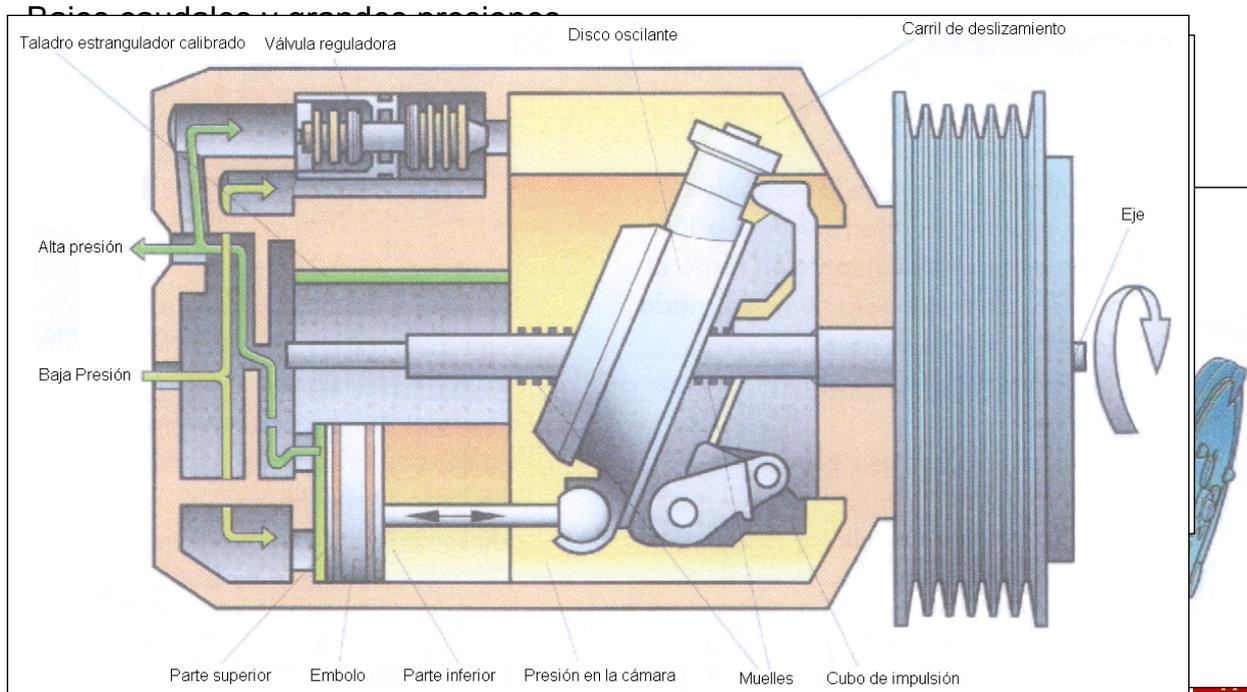
Una serie de cilindros y pistones axiales

El giro de un plato inclinado provoca el movimiento de los pistones en los cilindros

La inclinación del plato modifica la cilindrada de la bomba



Bombas de Pistones Axiales (I)



Bombas de Pistones Axiales (II)

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l \cdot z \cdot n}{4 \cdot 60} \text{ m}^3 / \text{s}$$

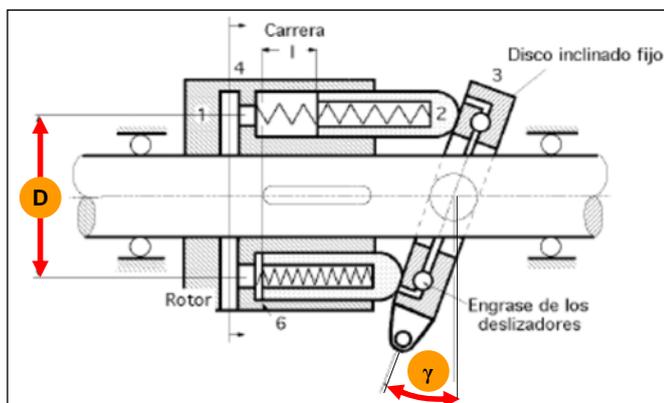
Siendo:

- d el diámetro de los cilindros
- l es el recorrido del pistón
- z el número de cilindros
- n las r.p.m.

$$l = D \cdot \text{tg}\gamma$$

Siendo:

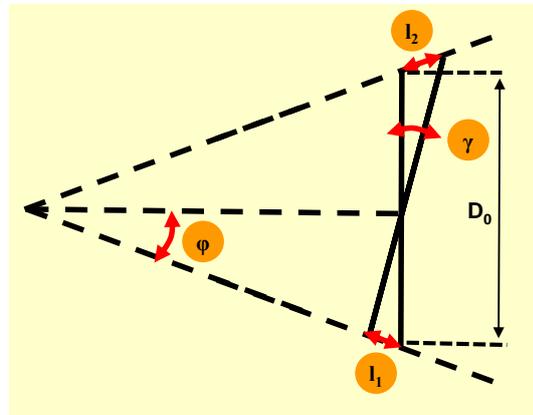
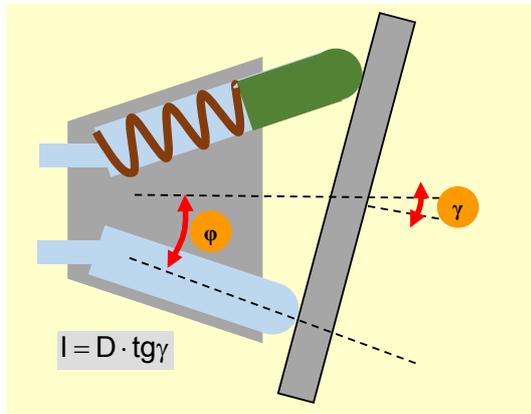
- D el doble de la distancia entre los ejes de la bomba y de los émbolos
- γ el ángulo de inclinación del plato



$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot [D \cdot \text{tg}\gamma] \cdot z \cdot n}{4 \cdot 60} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Bombas de Pistones Axiales (III)

Es posible que los cilindros estén inclinados un cierto ángulo sobre la dirección del eje, φ (es fijo), lo que modifica el recorrido de los pistones



La carrera del pistón es la suma de dos:

- La que recorre hacia fuera desde el pto nulo, l_2
- La que recorre hacia dentro desde el pto nulo, l_1

19

Bombas de Pistones Axiales (IV)

La carrera del pistón es la suma de dos:

- La que recorre hacia dentro desde el pto nulo, l_1

$$l_1 = \frac{D}{2 \cdot \text{sen} \phi} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\text{sen}(90 - \gamma + \phi)} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\text{cos}(\phi - \gamma)}$$

- La que recorre hacia fuera desde el pto nulo, l_2

$$l_2 = \frac{D}{2 \cdot \text{sen} \phi} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\text{sen}(90 - \gamma - \phi)} = \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\text{cos}(\phi + \gamma)}$$

$$l = l_1 + l_2 = \frac{D}{2} \cdot \text{sen} \gamma \cdot \left[\frac{1}{\text{cos}(\phi - \gamma)} + \frac{1}{\text{cos}(\phi + \gamma)} \right]$$

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{4} \cdot \frac{z \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot z \cdot n}{480} \cdot D \cdot \text{sen} \gamma \cdot \left[\frac{1}{\text{cos}(\phi - \gamma)} + \frac{1}{\text{cos}(\phi + \gamma)} \right] \text{ m}^3/\text{s}$$

20

Bombas de Pistones Radiales

Bajos caudales y grandes presiones,
hasta 300 bar

Líquidos limpios

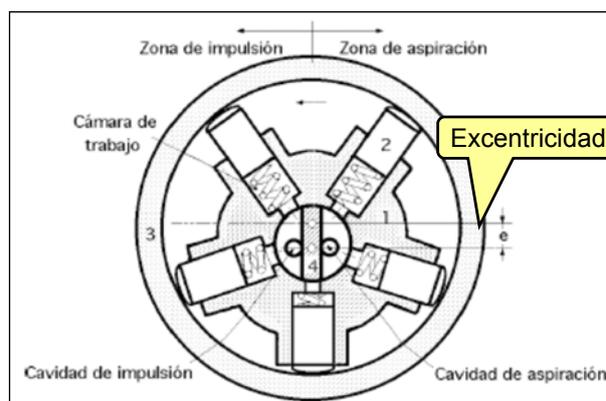
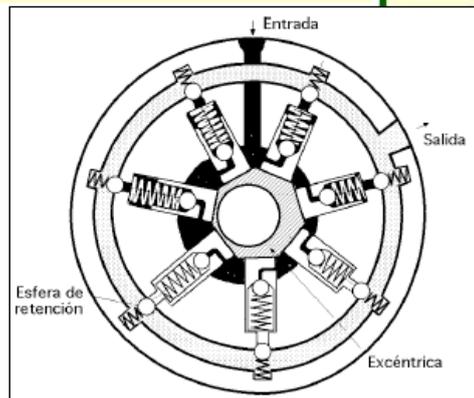
Una serie de cilindros y pistones radiales que giran excéntricamente el interior de la bomba

El giro provoca el movimiento de los pistones en los cilindros

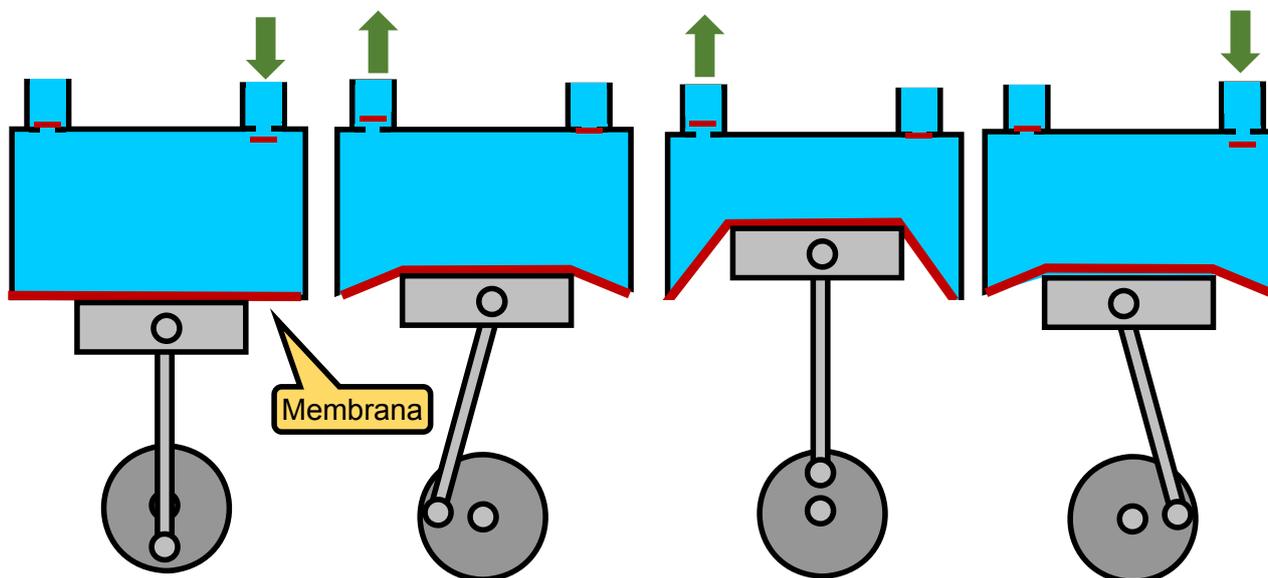
$$Q = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot 2 \cdot e \cdot \frac{z \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot e \cdot z \cdot n}{120}$$

Siendo:

- d el diámetro de los cilindros
- e la excentricidad
- z el número de cilindros
- n las r.p.m.



Bombas de Membrana



Bombas de Engranajes (I)

Para líquidos viscosos: aceites, gasóleos, ...

Presiones de hasta 150 bar

El motor acciona un rotor, que mueve el segundo

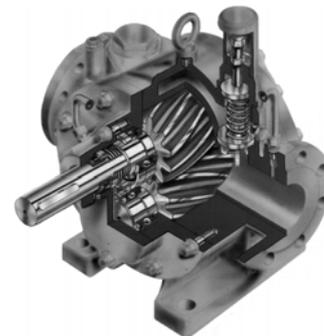
El fluido circula por la periferia, entre el rotor y la cámara

La inclinación de los dientes proporciona un flujo más cte de líquido

$$Q = \frac{W \cdot n}{60} = \frac{V \cdot z \cdot n}{60} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Siendo:

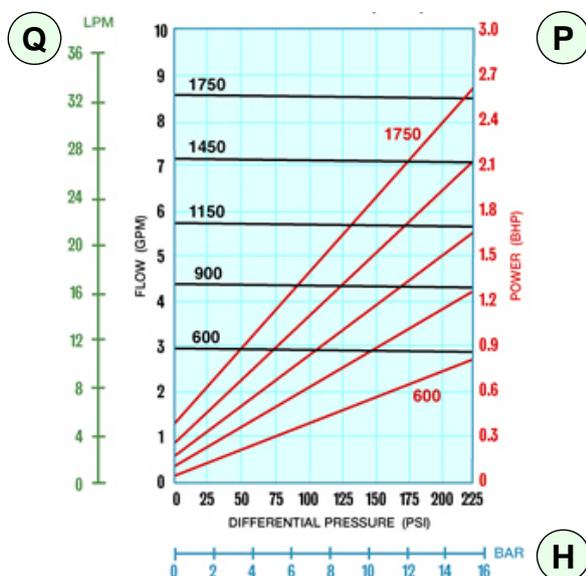
- W el volumen de trabajo de la bomba en cada revolución
- n el número de revoluciones por minuto
- V el volumen de cada cámara de trabajo
- Z el número de cámaras de trabajo



$$Q = cte_1 \cdot n = cte_2$$

$$Pot = \gamma \cdot Q \cdot H = cte_3 \cdot H$$

Bombas de Engranajes (II)



$$P = \gamma \cdot Q \cdot H = cte_3 \cdot H$$

$$Q = cte_1 \cdot n = cte_2$$



Bombas de Engranajes (III)

FACTORES DE CORRECCION

Cuando la viscosidad del fluido y/o la velocidad de funcionamiento son diferentes a las expresadas en las curvas, los valores de **caudal y potencia absorbida** se determinan mediante las siguientes fórmulas:

$$Q_2 = Q_{th} \times \frac{n_2}{1450} - \left(Q_{th} \times \frac{n_1}{1450} - Q_1 \right) \times \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{-1/3}$$

$$P_2 = \frac{Q_{th} \times \Delta p \times n_2}{36 \times 1450} + \left(P_1 - \frac{Q_{th} \times \Delta p \times n_1}{36 \times 1450} \right) \times \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{1/3} \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^{4/3}$$

donde:

- n_1 = Velocidad inicial señalada en la curva (r.p.m.)
- n_2 = Velocidad final requerida (r.p.m.)
- v_1 = Viscosidad del fluido señalada en la curva (°E)
- v_2 = Viscosidad del fluido requerido (°E)
- Δp = Presión diferencial requerida (bar)
- Q_{th} = Caudal teórico de la bomba (m³/h), a presión **cero** y a 1.450 r.p.m.
- Q_1 = Caudal inicial de la curva (m³/h), con fluido de viscosidad v_1 , a una presión diferencial de Δp y a n_1 r.p.m.
- Q_2 = Caudal resultante (m³/h), con fluido de viscosidad v_2 , a una presión diferencial de Δp y a n_2 r.p.m.
- P_1 = Potencia absorbida en la curva (kW), con fluido de viscosidad v_1 , para un caudal Q_1 a una presión diferencial de Δp y a n_1 r.p.m.
- P_2 = Potencia absorbida resultante (kW), con fluido de viscosidad v_2 , para un caudal Q_2 a una presión diferencial de Δp y a n_2 r.p.m.

EJEMPLO.- Calcular los valores de caudal y potencia absorbida para la bomba RC-3R, con un aceite de viscosidad 12 °E, girando a 780 r.p.m. y una presión diferencial de 4 bar. Se basará en la curva disponible más próxima: 50 Hz - 6 polos - 987 r.p.m.

Datos de partida

- n_1 = 987 rpm (en la curva)
- n_2 = 780 rpm
- v_1 = 20 °E (en la curva)
- v_2 = 12 °E
- Δp = 4 bar
- Q_{th} (a 1450 rpm) = 52,5 m³/h
- Q_1 (a 987 rpm) = 30,3 m³/h
- P_1 (a 987 rpm) = 8,6 kW

Resultados

$$Q_2 = 52,5 \times \frac{780}{1450} - \left(52,5 \times \frac{987}{1450} - 30,3 \right) \times \left(\frac{12}{20} \right)^{-1/3}$$

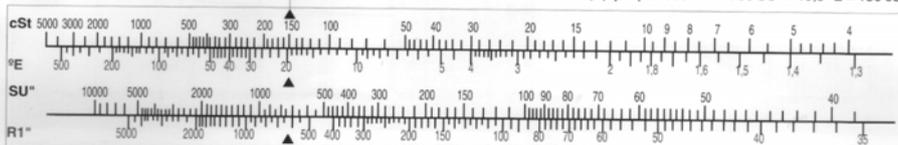
caudal resultante: **$Q_2 = 21,8 \text{ m}^3/\text{h}$**

$$P_2 = \frac{52,5 \times 4 \times 780}{36 \times 1450} + \left(8,6 - \frac{52,5 \times 4 \times 987}{36 \times 1450} \right) \times \left(\frac{12}{20} \right)^{1/3} \times \left(\frac{780}{987} \right)^{4/3}$$

potencia absorbida resultante: **$P_2 = 6,0 \text{ kW} = 8,15 \text{ HP}$**

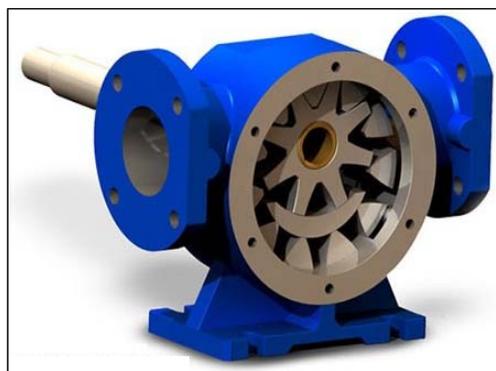
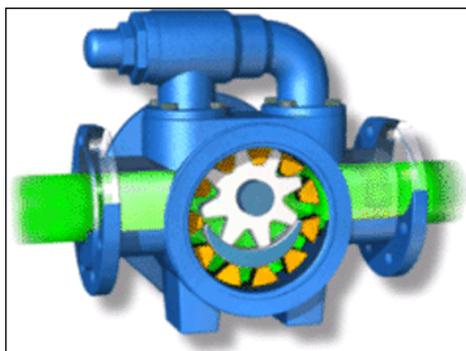
TABLA DE VISCOSIDADES

►(Ejemplo: 608 R1* = 700 SU* = 19,5 °E = 150 cSt)



Bombas de Engranajes (IV)

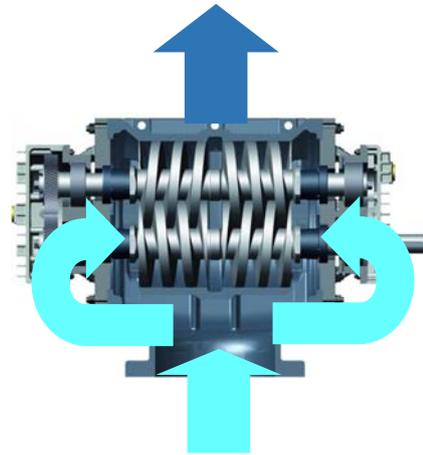
Hay bombas de engranaje interior



Bombas de Tornillo (I)

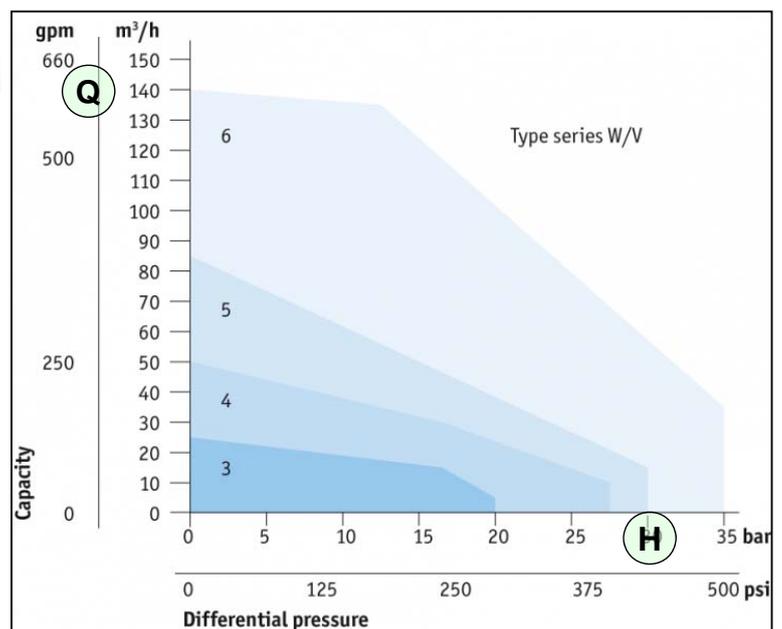
Para líquidos viscosos

Hasta presiones de 200 bar

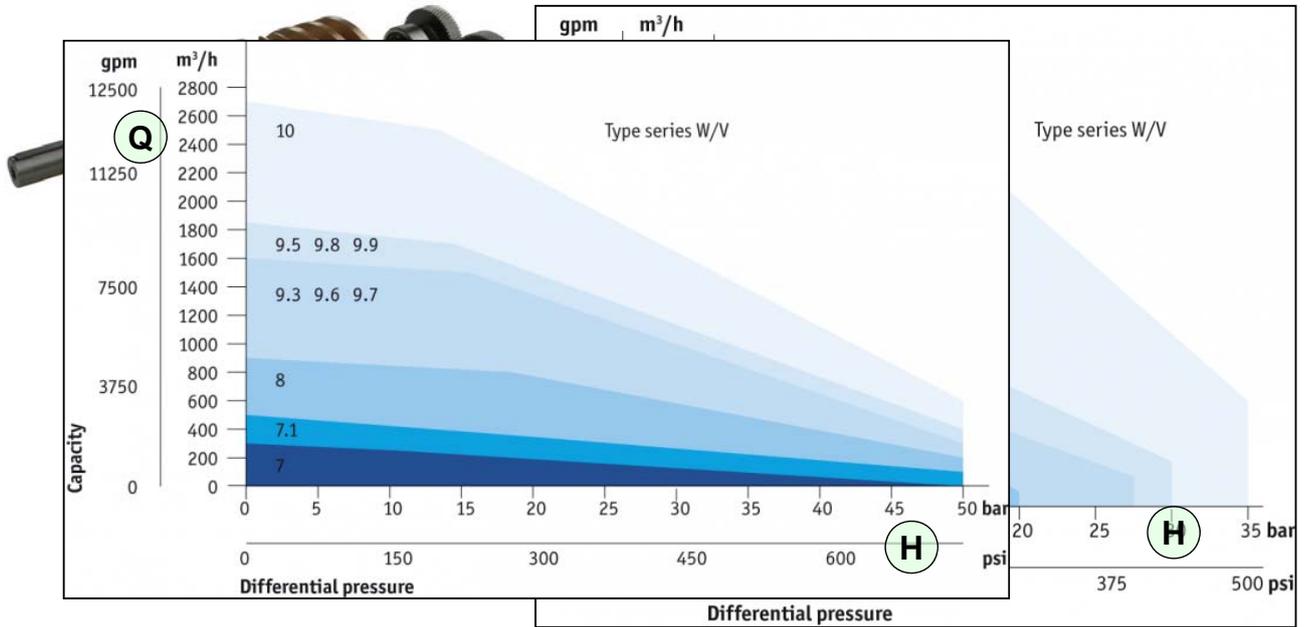


Limitar esfuerzos axiales

Bombas de Tornillo (II)



Bombas de Tornillo (II)

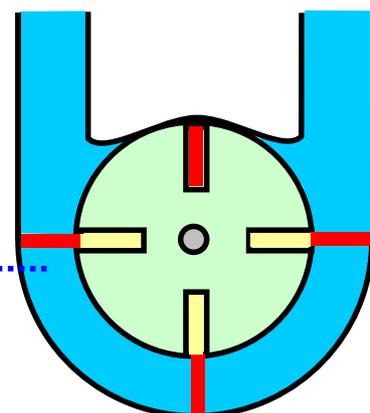


Bombas de Paletas

Un rotor excéntrico con ranuras en las que se esconden una serie de paletas
Pueden variar su caudal modificando la excentricidad



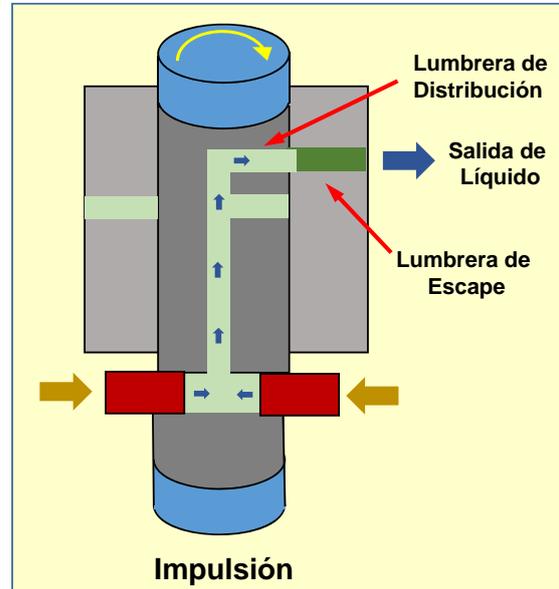
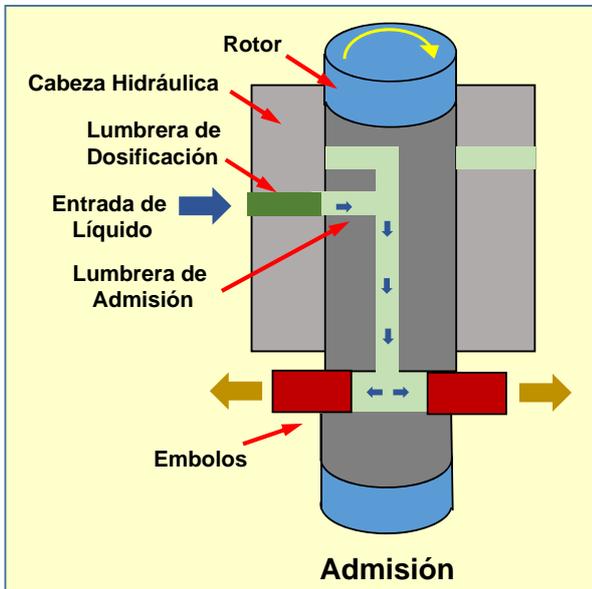
Variando excentricidad



Bombas Dosificadoras

Una cavidad de tamaño fijo que se llena y vacía en cada embolada

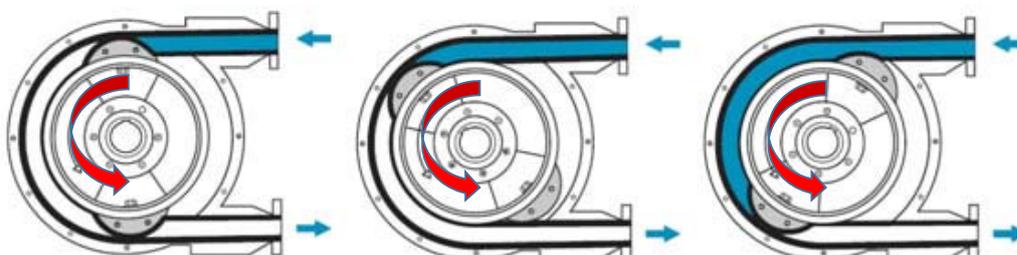
Sirven para dosificar con precisión



Bombas Peristálticas

Empleadas para movimiento de:

- Fluidos estériles (evitar contaminación)
- Fluidos agresivos (evitar daño en la bomba)



Bombas Peristálticas

Empleadas para movimiento de:

- Fluidos estériles (evitar contaminación)
- Fluidos agresivos (evitar daño en la bomba)

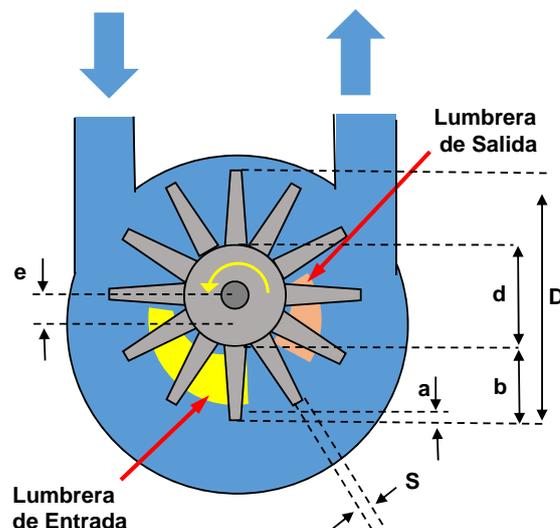


Bombas Autocebantes (I)

Bajos rendimientos (20-40%)

De anillos de agua:

- Rodete excéntrico
- Lumbreras de entrada y salida en las paredes perpendiculares al eje
- Como bombas de vacío con gases



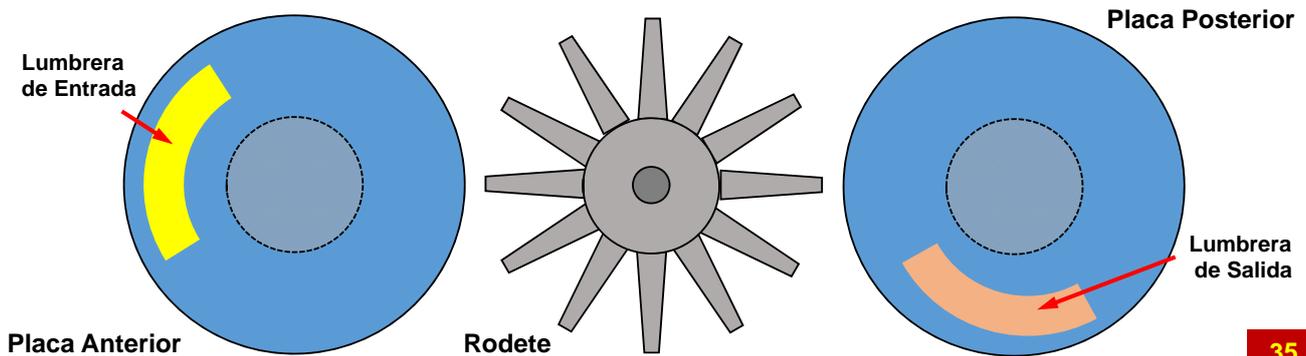
$$Q = \frac{\text{ancho} \cdot n}{60} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot ((D - a)^2 - d^2 - n^\circ \text{alabes} \cdot (b - a)) \cdot s \right)$$

Bombas Autocebantes (II)

Bajos rendimientos (20-40%)

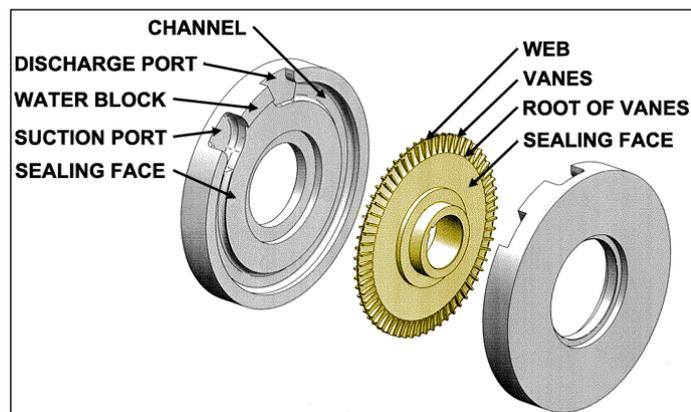
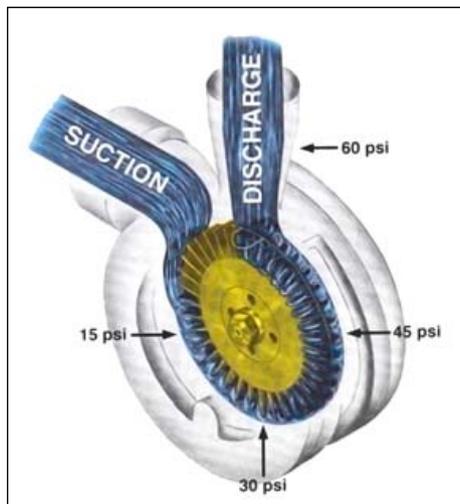
De canales de derivación:

- Rodete concéntrico
- En una o las dos paredes hay canales de derivación (espiral)
- Lumbreras de entrada y salida en cada una de las paredes
- Trabajan mejor con líquidos



Bombas Autocebantes (II)

Bajos rendimientos (20-40%)



Bombas Centrífugas Autocebantes

Son bombas centrífugas con una etapa inicial adicional que extrae el aire de la tubería de aspiración y genera la depresión necesaria para aspirar el líquido



Bombas Centrífugas Autocebantes

Son bombas centrífugas con una etapa inicial que extrae el aire de la tubería de aspiración y genera la depresión necesaria para aspirar el líquido

Clamp			
	Pump type	JP5	JP6
Pos.	Model	B, D, E	
	Kit No	96957810	
92	Clamp	1	
93	Hexagon socket head cap screw	1	
94	Lock nut M6	1	

Hydraulic parts			
	Pump type	JP5	JP6
Pos.	Model	B, D, E	
	Kit No	96768184	96768185
13	O-ring	1	1
14	Ejector complete	1	1
49	Impeller	1	1
66	Washer	1	1
67	Lock nut M8	1	1
91	Seal ring	1	1

O-ring			
	Pump type	JP5, JP6	
Pos.	Model	B, D, E	
	Kit No	96768180	
11	O-ring	2	
13	O-ring	1	
25	Plug	2	
31	O-ring	1	

Shaft seal model D

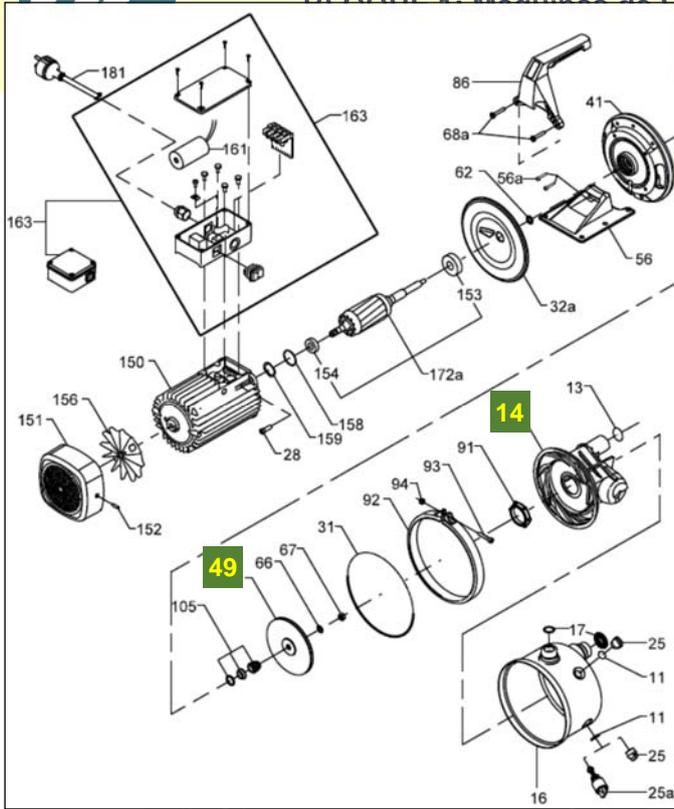
	Pump type	JP5, JP6	JP5, JP6
Pos.	Model	D	D
	Material	A	B
	Kit No	96768182	98963491
62	Gasket	1	1
105	Shaft seal, material A	1	-
105	Shaft seal, material B	-	1
91	Seal ring, JP5	1	1
31	O-ring	1	1

Shaft seal and impeller model C

	Pump type	JP5	JP6
Pos.	Model	C	C
	Kit No	985742	985743
11	O-ring	2	2
13	O-ring	1	1
25	Pipe plug	1	1
25A	Ejector valve	1	1
31	O-ring	1	1
49	Impeller	1	1
62	O-ring	1	1
105	Shaft seal	1	1
91	Seal ring	1	1
93	Hexagon socket head cap screw	1	1
94	Lock nut	1	1

Shaft and rotor complete

	Pump type	JP6
Pos.	Model	B, D, E
	Kit No	99012780
172a	Shaft and rotor with spline	1
153	Ball bearing	1
154	Ball bearing	1



11	O-ring	2
13	O-ring	1
25	Plug	2
31	O-ring	1

Shaft seal model D

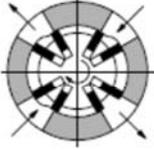
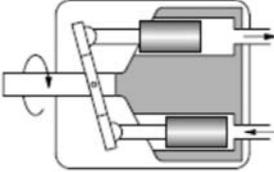
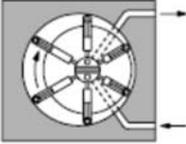
Pump type		Hydraulic parts	
Pos.	Model	Pos.	Model
	Material		Pump type
	Kit No		Kit No
62	Gasket	13	O-ring
105	Shaft seal	14	Ejector complete
105	Shaft seal	49	Impeller
91	Seal ring	66	Washer
31	O-ring	11	O-ring
		13	O-ring
		67	Lock nut M8
		91	Seal ring

Pump type		Shaft seal ar	
Pos.	Model	Pos.	Model
	Kit No		Kit No
11	O-ring	1	1
13	O-ring	1	1
25	Pipe plug	1	1
25A	Ejector	1	1
31	O-ring	1	1
49	Impeller	1	1
62	O-ring	1	1
105	Shaft seal	1	1
91	Seal ring	1	1
93	Hexagon socket head cap screw	1	1
94	Lock nut	1	1

Shaft and rotor complete

Pump type		Shaft and rotor complete	
Pos.	Model	Pos.	Model
	Kit No		Kit No
172a	Shaft and rotor with spline	1	1
153	Ball bearing	1	1
154	Ball bearing	1	1

FESTO	Types of design	Speed range r.p.m.	Displacement volume (cm ³)	Nominal pressure (bar)	Total efficiency
	Gear pump, externally toothed	500 – 3500	1.2 – 250	63 – 160	0.8 – 0.91
	Gear pump, internally toothed	500 – 3500	4 – 250	160 – 250	0.8 – 0.91
	Screw pump	500 – 4000	4 – 630	25 – 160	0.7 – 0.84

FESTO	Types of design	Speed range r.p.m.	Displacement volume (cm ³)	Nominal pressure (bar)	Total efficiency
	Rotary vane pump	960 – 3000	5 – 160	100 – 160	0.8 – 0.93
	Axial piston pump – 3000 750 – 3000 750 – 3000	100 25 – 800 25 – 800	200 160 – 250 160 – 320	0.8 – 0.92 0.82 – 0.92 0.8 – 0.92
	Radial piston pump	960 – 3000	5 – 160	160 – 320	0.90

Una bomba de émbolo de doble efecto ($d_{\text{embolo}} = 250 \text{ mm}$, $d_{\text{vástago}} = 50 \text{ mm}$, carrera = 375 mm, $n = 60 \text{ rpm}$) tiene una presión en la aspiración de -4,5 m.c.a. y de impulsión de 18 m.c.a., calcular:

- La fuerza que requiere la bomba en las dos carreras
- El caudal de la bomba
- La potencia absorbida